البيتون مسبق الإجهاد (Prestressed Concrete)

مفهوم البيتون مسبق الاجهاد

1- مقدمة – آراء عامة

من خصائص البيتون العادي أنه يقاوم قوى الضغط بقدر أكبر من قوى الشد لذا تم ابتكار طريقة سبق الإجهاد للتغلب على ضعف مقاومته للشد. يتم تحفيز الإجهادات الداخلية بواسطة تطبيق بعض التقنيات الخاصة التي تطورها الضغوط ذات الطبيعة المعاكسة لتلك التي تنتجها الأحمال الخارجية، والتي يجب على العنصر الإنشائي تحملها .

البيتون مسبق الإجهاد هو أحد أنواع البيتون الذي يحوي تسليح قليل مقارنة بالبيتون المسلح التقليدي، إذ يتم اكسابه اجهادات ضغط قبل ووضعه في طور الاستثمار، وإجهادات الضغط هذه تكون كافية لاستبعاد اجهادات الشد الناجمة عن الاحمال الخارجية والحصول على منشآت بيتونية مسلحة خالية من التشققات، وذات ديمومة أكبر.

ومن اهم الطرق المستخدمة للحصول على بيتون مسبق الإجهاد هو " سبق الإجهاد Pre-tension "، إذ يتم شد مسبق للتسليح المكون من أوتار فولاذية عالية المقاومة (أسلاك – جدايل – كابلات – قضبان...) قبل عملية صب البيتون في القالب، وتترك مشدودة في حدود المرونة لحين تصلب البيتون واكتسابه المقاومة المطلوبة ليصار إلى ازالة قوى الشد من التسليح الذي سيتقلص بدوره داخل البيتون المتصلب، بالتالي توليد قوى ضغط في البيتون.

يتم استخدام العناصر البيتونية الجاهزة (مسبقة الإجهاد مسبقة الصنع) في مجموعة واسعة من المباني والمنشآت المدنية حيث يمكن تحسين أدائها عن طريق تكبير مجازات الجوائز، بالمقارنة مع البيتون المسلح العادية. وتشمل تطبيقاتها النموذجية المباني الشاهقة، والابراج السكنية، والأساسات، وهياكل الجسور والسدود، والصوامع والخزانات، والمحطات النووية.

من جهة ثانية يمكن توليد قوى ضغط في البيتون بطريقة أخرى تسمى "الشد اللاحق Post-tension " إذ يتم شد الأوتار أو الجدايل المتوضعة داخل أغماد خاصة بأقطار مناسبة، بعد الانتهاء من أعمال صب البيتون وتصلبه. تنفذ الأغماد في مسارات معينة تحدد من قبل الدارس، وذلك ضمن القالب ليصار إلى صب البيتون ومن ثم تجرى عملية شد الأوتار بعد تصلب البيتون، وفي النهاية تتم عملية إملاء الأغماد بمونة اسمنتية حاصة.

يمكن أن تتكون الأوتار من أسلاك مفردة أو متعددة أو أشرطة مترابطة، وتكون أكثر شيوعا من الفولاذ عالي الشد أو ألياف الكربون وأساس البيتون المسبق الإجهاد هو أنه بمجرد الضغط الأولي وقد تم تطبيقه، يكون البيتون الناتج له خصائص كلا من البيتون عالي التحمل لقوى الضغط، والفولاذ المرن عالي التحمل لقوى الشد. وهذا يمكن أن يؤدي إلى تحسين القدرة الإنشائية والخدمية مقارنة بالبيتون المسلح التقليدي في كثير من الحالات.

يوجد طرق مختلفة لشد الأسلاك أو الأوتار منها الطريقة الميكانيكية (الأكثر شيوعاً) والطريق الكهربائية والطريقة الكيمائية.

نشير هنا إلى وجود نظم مختلفة لتأمين سبق الإجهاد، وهي مسماة باسم الباحث الذي طورها، وأول نظام لسبق الإجهاد قام بتطويره المهندس الفرنسي **فريسنيه** (بدلية القرن العشرين): تثبت الأسلاك المتوازية في مكانها بواسطة مونتاج حلزوني الشكل لتتوضع الجديلة داخل غمد مرن قبل وضعه في القالب مع إخراجها حوالي 75-60 سم لزوم عملية الشد.

إن حالة سبق الإجهاد تعتمد على الحالة الإجهادية المراد اعتمادها للعنصر الإنشائي وفقاً لنوعه وأهميته وهل يسمح بتشكل شقوق أم لا. يمكن القول أن هناك ثلاث حالات لسبق الإجهاد، وهي:

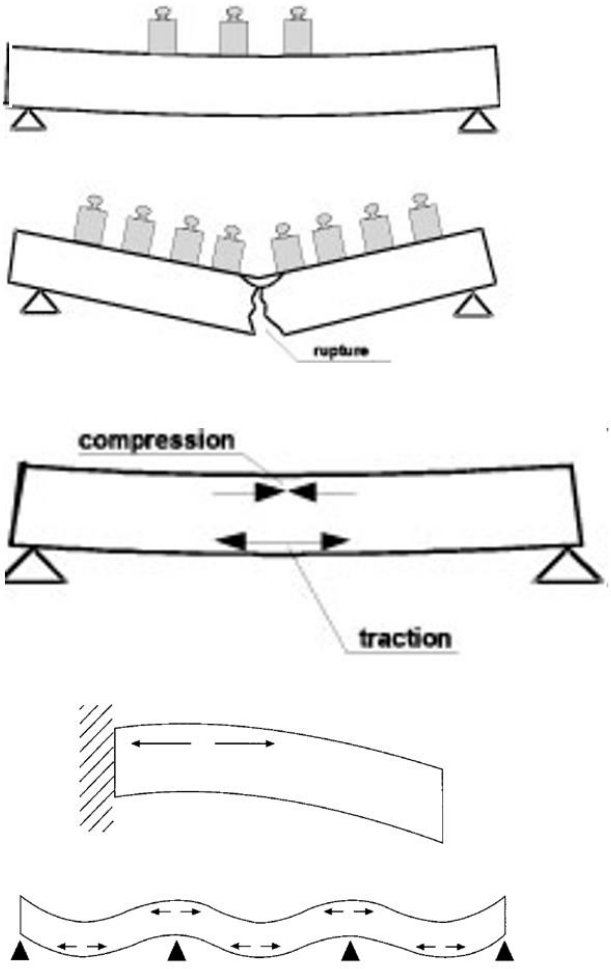
- سبق الإجهاد كامل (Full prestressing): غالباً ما تكون قوى الضغط نتيجة سبق الإجهاد أكبر من قوى الشد الناجمة عن الاحمال الدائمة والإضافية، وبالتالي الإجهادات النهائية الفاعلة على المقطع هي اجهادات ضغط، وقد يكون هناك اجهادات شد بقيمة لا تزيد عن مقاومة البيتون للشد، إذ لا يسمح بحدوث تشققات في العنصر.
- سبق الإجهاد جزئي (Partial prestressing): تكون قوى الضغط نتيجة سبق الإجهاد أقل من قوى الشد الناجمة عن الاحمال الدائمة والإضافية، وتكون الإجهادات النهائية المؤثرة على المقطع هي اجهادات ضغط وشد، ويسمح بحدوث التشققات، ويمكن استخدام فولاذ تسليح بمنطقة الشد بالإضافة الي فولاذ سبق الإجهاد.

ملاحظة: لتفادي الخلط بين المصطلحات الرئيسة لعلم مسبق الإجهاد المستعملة، فقد اعتمدت المصطلحات الرئيسة الآتية (ملحق الكود 8):

- مسبق الإجهاد أو (سبق الإجهاد) Prestressed يعني أيّاً من نظامَي الشدّ اللاحق أو الشدّ السابق.
- الشدّ اللاحق أو (لاحق الشدّ) أو (لاحق الجهد) Post-tension يعني نقل القوّة الناتجة عن شدّ التسليح إلى البيتون المصبوب، بعد وصول مقاومته إلى درجة، تسمح بتحمّل قوى الضغط الناتجة عن نقل قوّة شدّ التسليح إليها.
- الشدّ السابق أو (سابق الشدّ) أو (سابق الجهد) Pre-tension يعني شدّ حديد التسليح قبل صبّ البيتون، ومن ثمّ، يحرّر التسليح من مساند الشدّ، عند وصول مقاومة البيتون إلى قيمة، تسمح بنقل قوى الضغط الناتجة في البيتون؛ نتيجة لتحرير التسليح.

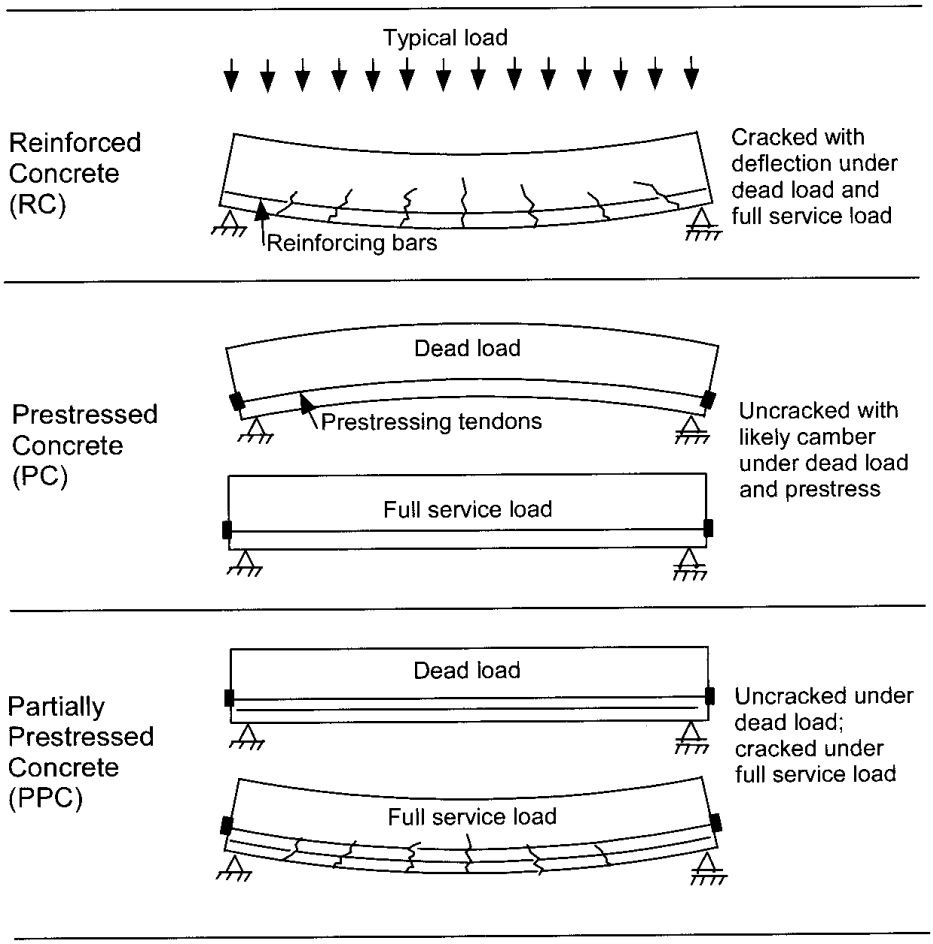
2- البيتون المسلح - Reinforced concrete

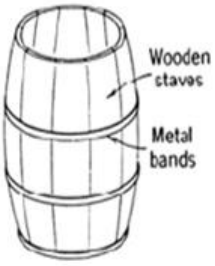
- البيتون قوي على الضغط وضعيف على الشد.
- الفولاذ قوي على الشد.
- يعتمد البيتون المسلح على البيتون لمقاومة الضغط وتثبيت قضبان التسليح في أماكنها. وأما الشد فيقاوم بالفولاذ.
- تهمل مقاومة البيتون على الشد.
- يسمح للجوائز بأن يتشكل فيها شقوق تحت تأثير حمولات الاستثمار.



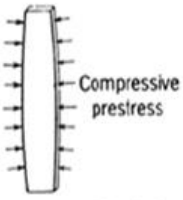
3- البيتون مسبق الإجهاد - Pre-stressed concrete

في عام 1904حاول الفرنسي فريسينيه إحداث قوى عاملة ودائمة في البيتون لمقاومة القوى المرنة الناجمة عن الحمولات الخارجية وسماها قوى سبق الاجهاد.

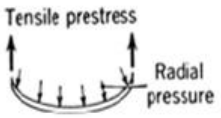




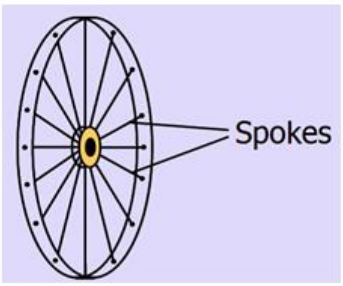
A Wooden Barrel



Wooden Stave as a Freebody



Half of Metal Band as a Freebody

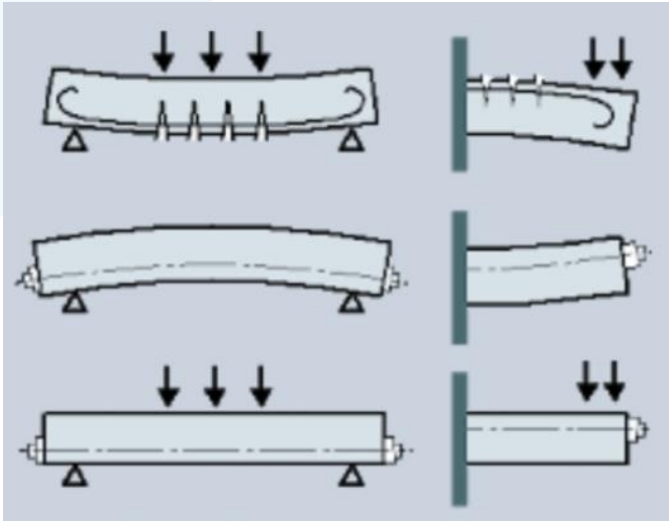


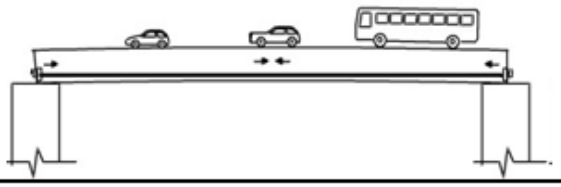
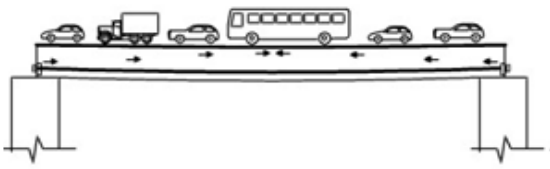
4- مبدأ سبق الاجهاد

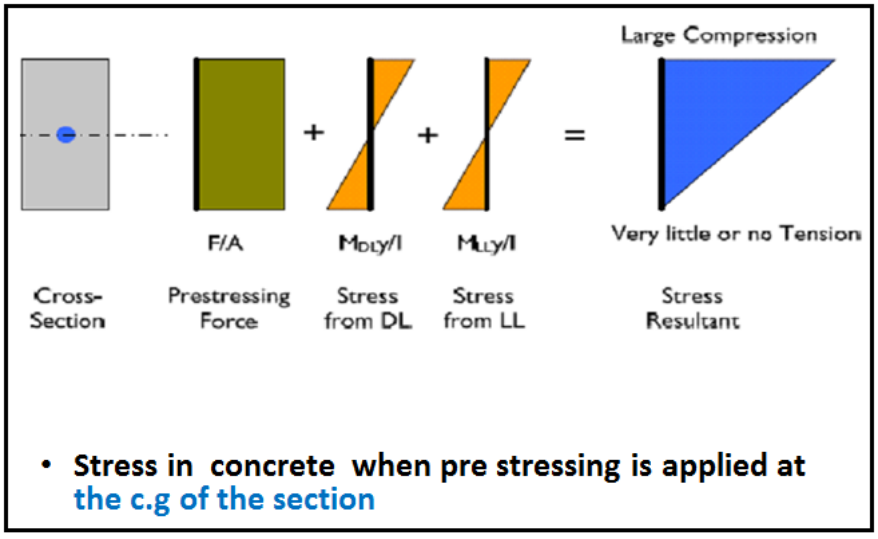
- سبق الاجهاد هو طريقة من خلالها يتم تطبيق قوة ضغط على مقطع بيتوني مسلح.
- دور سبق الاجهاد يتمثل بتخفيض اجهادات الشد لتصبح أقل من اجهاد التشقق.
- بالتالي يمكن التعامل مع البيتون كمادة مرنة.
- وتصور أن البيتون له نوعين من قوى الضغط:

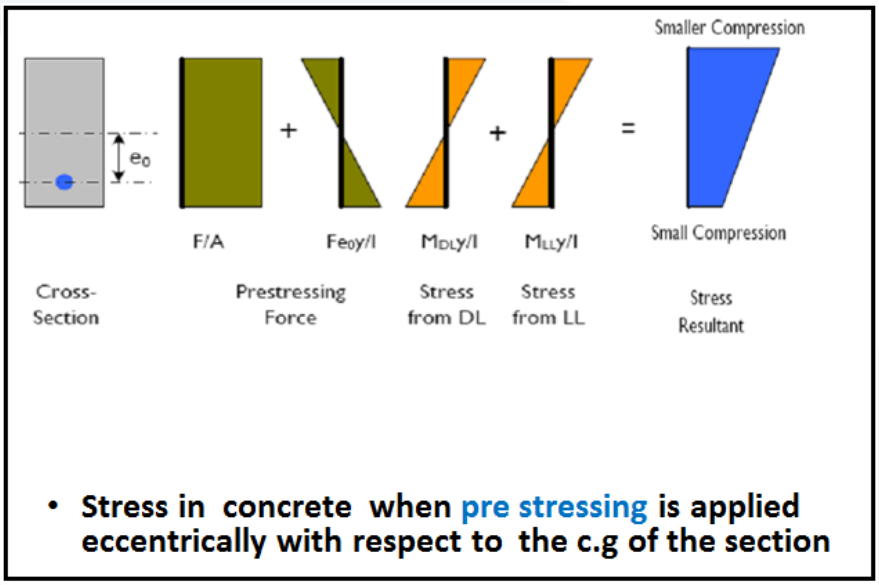
- قوة ضغط داخلية (سبق الاجهاد).

- قوى ضغط خارجية (ناجمة عن حمولات دائمة – إضافية...).

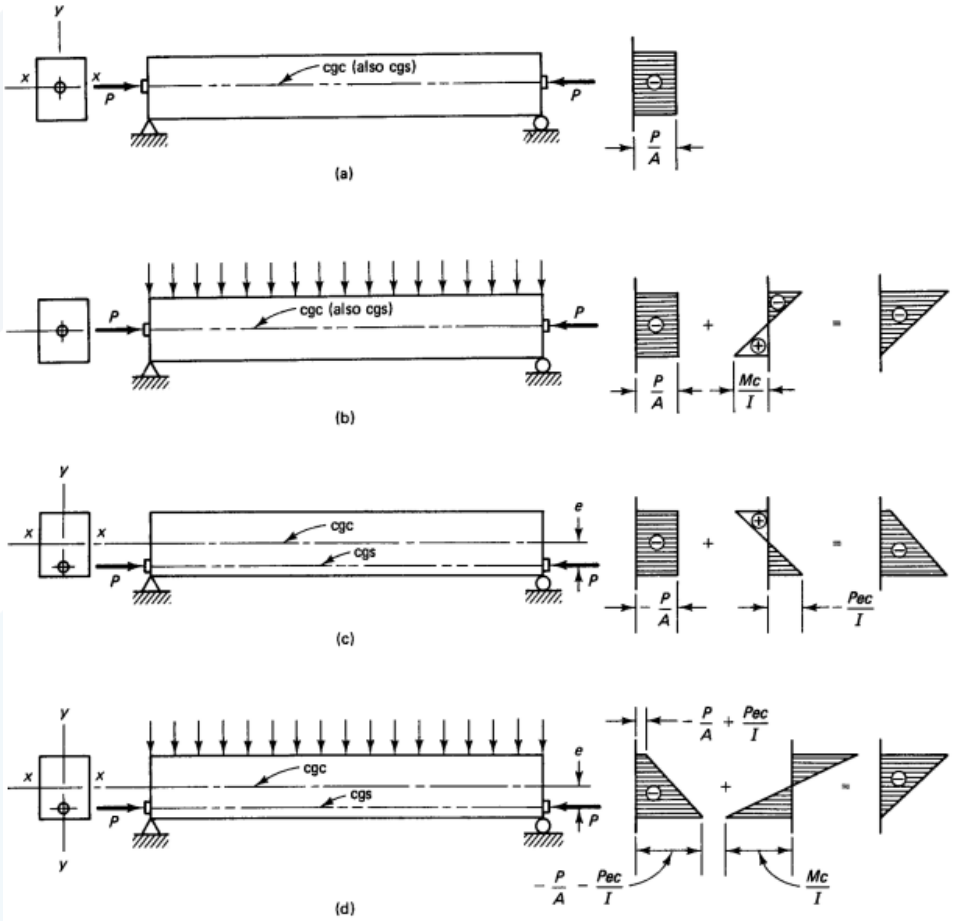


L'ouvrage précontraint est dans sa position initiale : la tension des câbles se reporte sur le béton, ce qui provoque un raccourcissement de la partie inférieure et par là même une cambrure vers le haut.	
Plus la charge augmente, plus la cambrure diminue.	
Avec l'augmentation des charges, l'ouvrage peut supporter une légère incurvation vers le bas. Aucune fissure n'apparaîtra aussi longtemps que la partie inférieure restera en compression.	
L'ouvrage reprend sa position initiale lorsqu'on supprime les charges appliquées.	



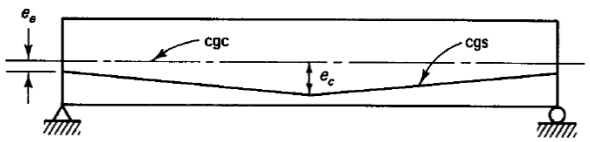


- **Stress in concrete when pre stressing is applied eccentrically with respect to the c.g of the section**

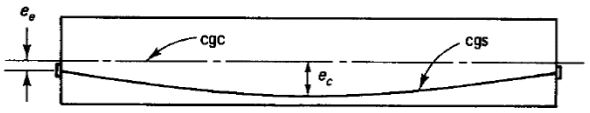


Concrete fiber stress distribution in a rectangular beam with straight tendon.

(a) Concentric tendon, prestress only. (b) Concentric tendon, self-weight added. (c) Eccentric tendon, prestress only. (d) Eccentric tendon, self-weight added.

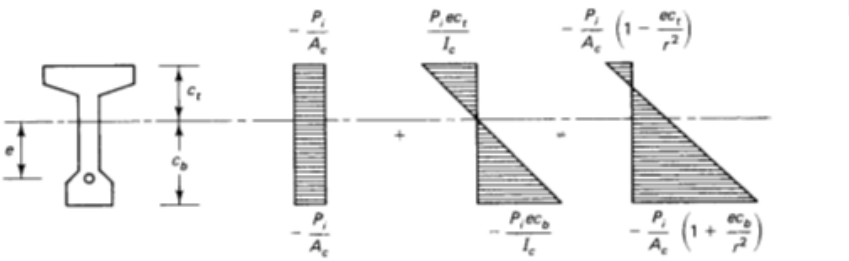


(a)

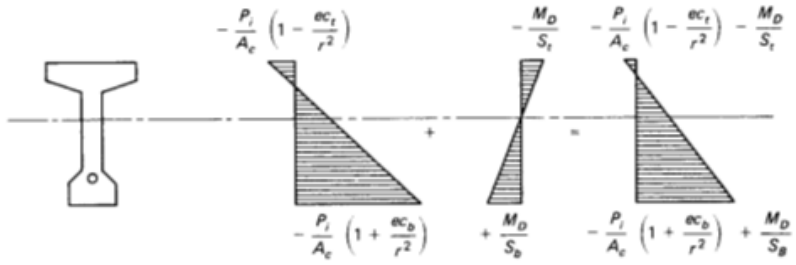


(b)

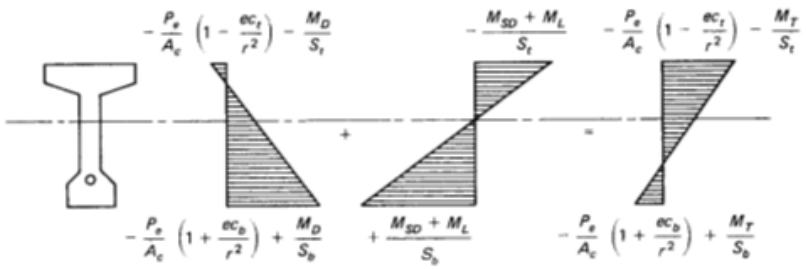
Prestressing tendon profile. (a) Harped tendon. (b) Draped tendon.



(a)

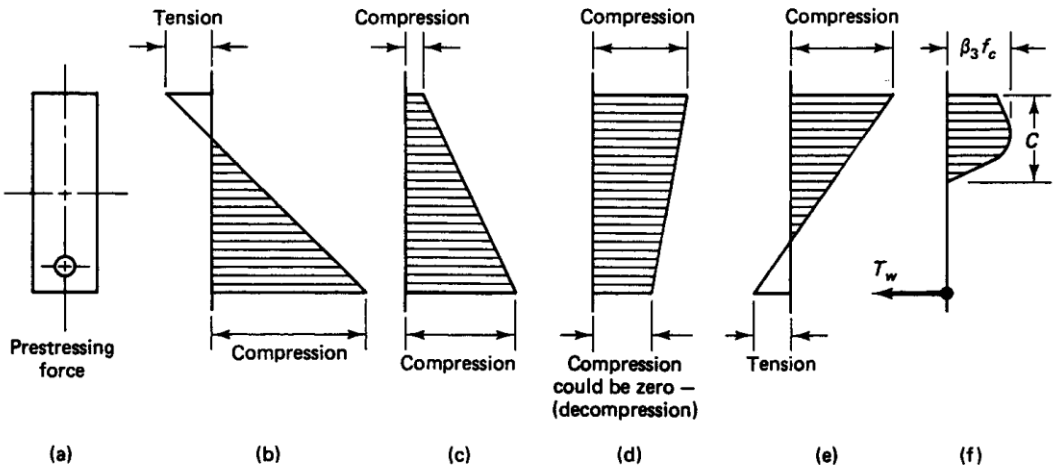


(b)

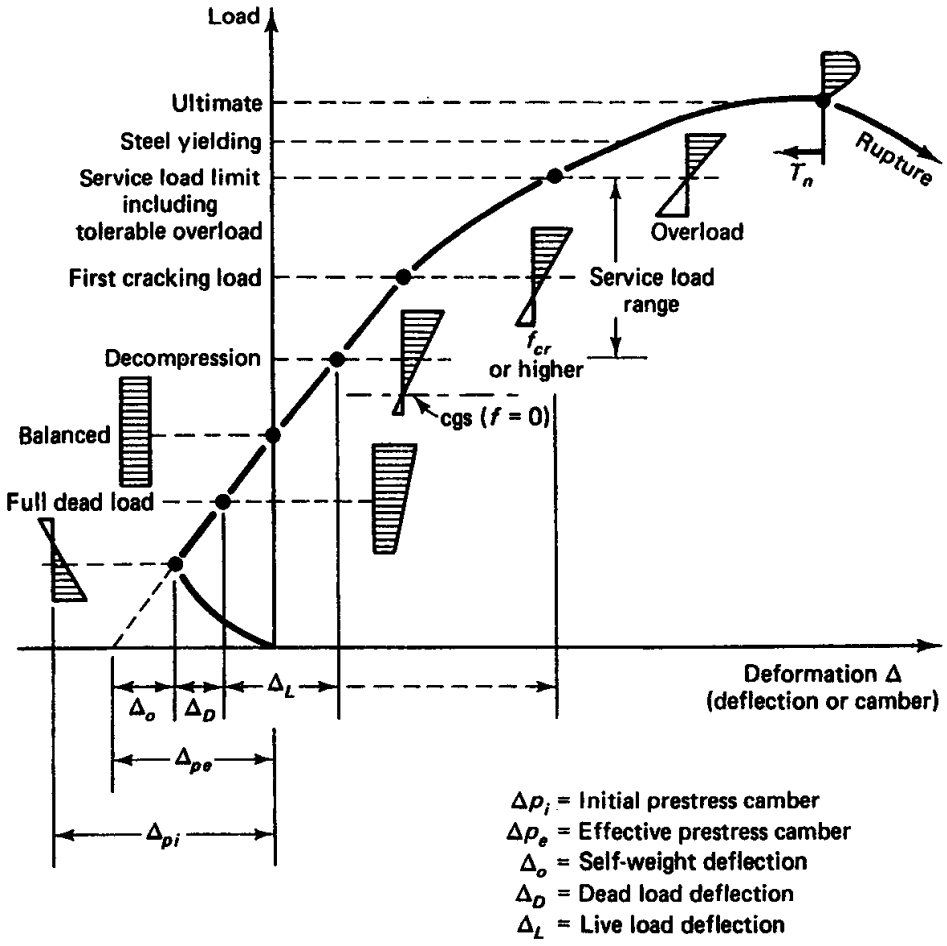


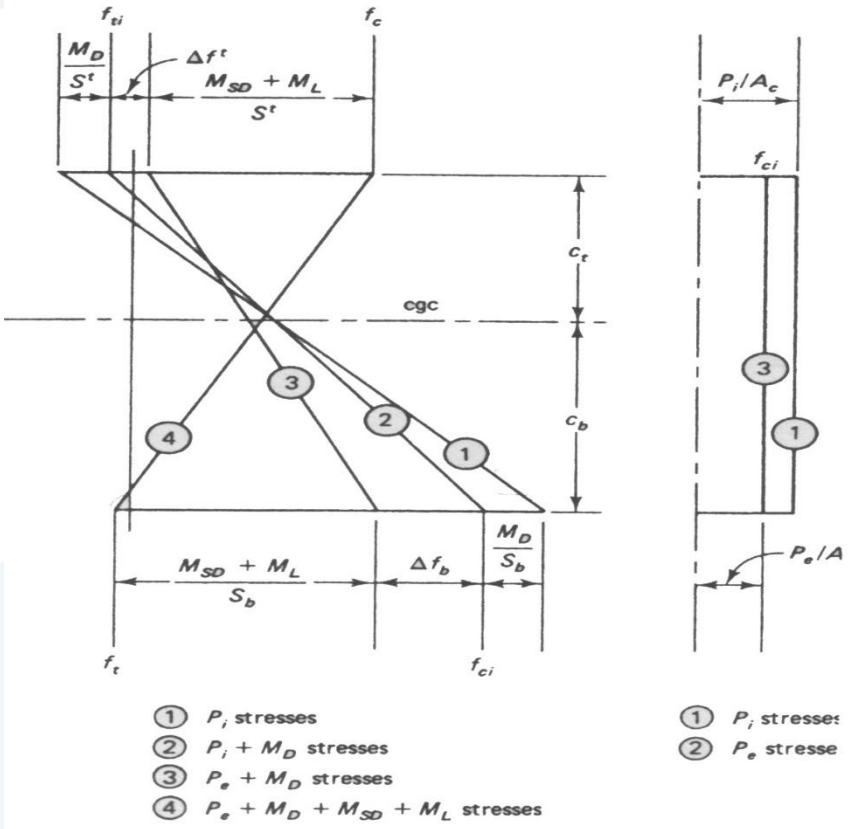
(c)

Elastic fiber stresses due to the various loads in a prestressed beam. (a) Initial prestress before losses. (b) Addition of self-weight. (c) Service load at effective prestress.

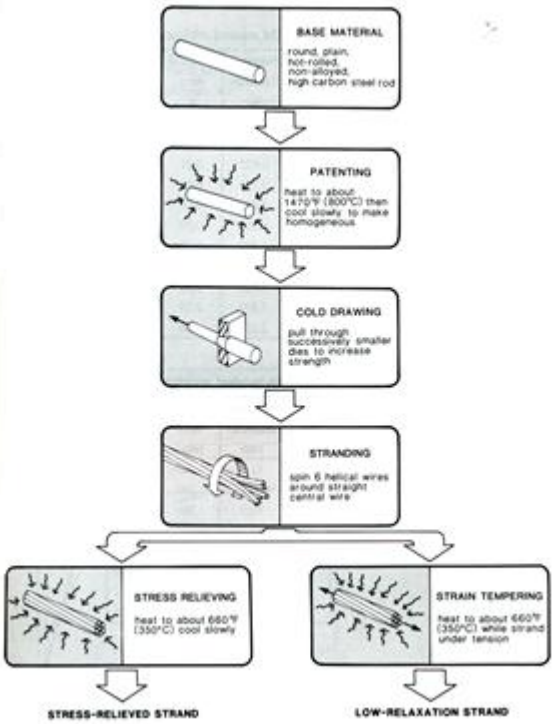


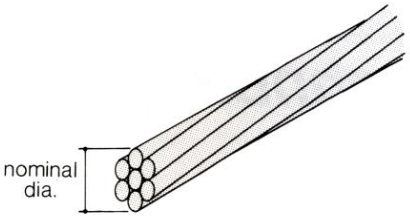
Flexural stress distribution throughout loading history. (a) Beam section. (b) Initial prestressing stage. (c) Self-weight and effective prestress. (d) Full dead load plus effective prestress. (e) Full service load plus effective prestress. (f) Limit state of stress at ultimate load for underreinforced beam.



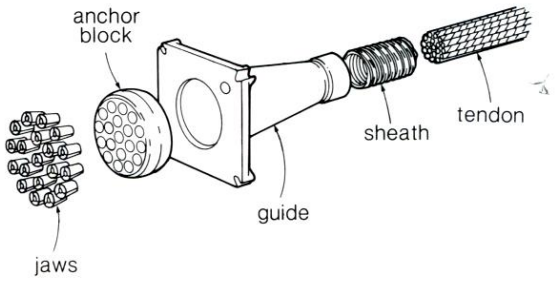


5- تصنيع الجديلة بسبعة أسلاك – قضبان – وسائط سبق الإجهاد والتثبيت

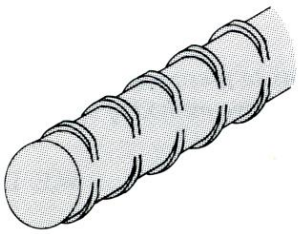

BASE MATERIAL
round, plain, hot-rolled, non-alloyed, high carbon steel rod
PATENTING
heat to about 1470°F (800°C) then cool slowly to make homogeneous
COLD DRAWING
pull through successively smaller dies to increase strength
STRANDING
spin 6 helical wires around straight central wire
STRESS RELIEVING
heat to about 660°F (350°C) cool slowly
STRAIN TEMPERING
heat to about 660°F (350°C) while strand under tension
STRESS-RELIEVED STRAND
LOW-RELAXATION STRAND



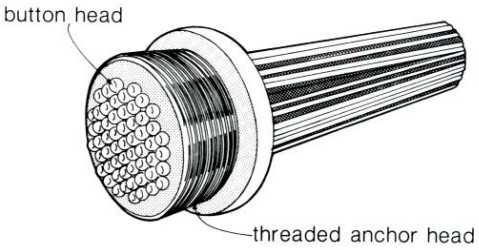
(a) 7-wire monostrand tendon



(b) Multi-strand tendon



(c) Single bar tendon



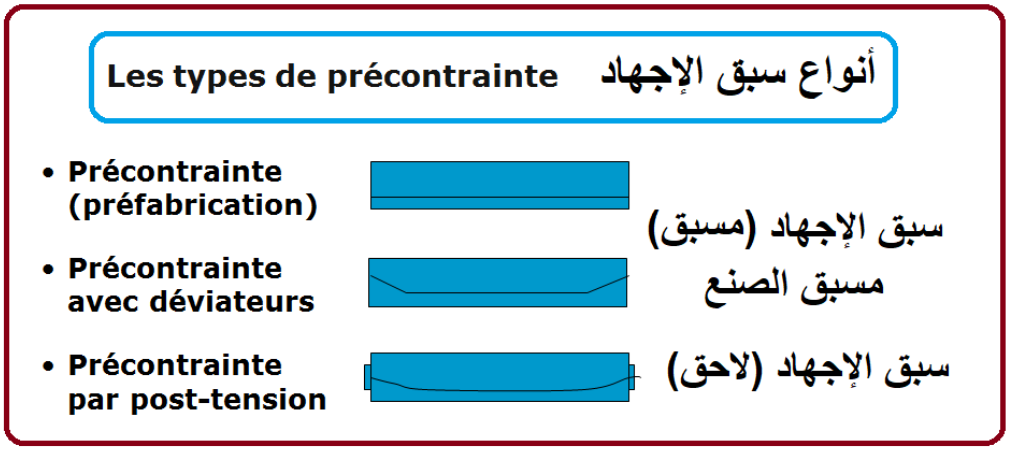
(d) Multi-wire tendon

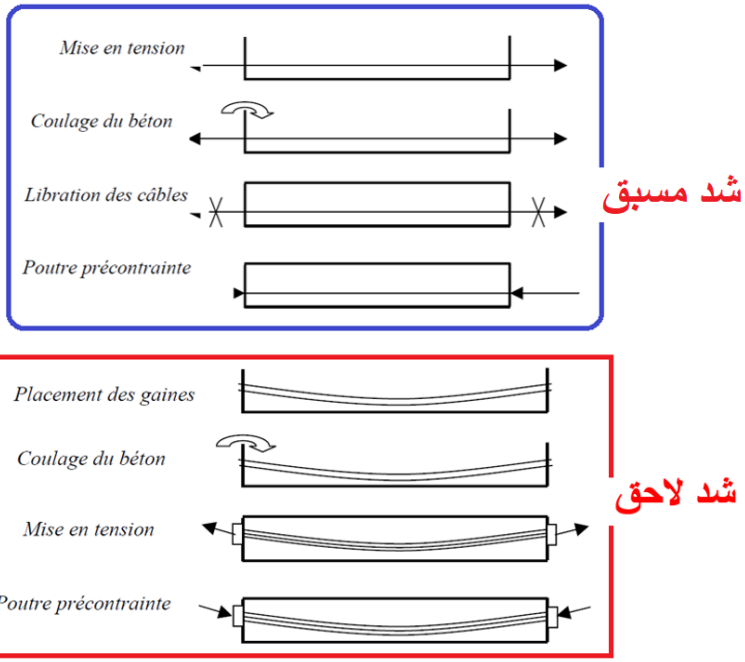
civil engineering club.com
Taha Esmail

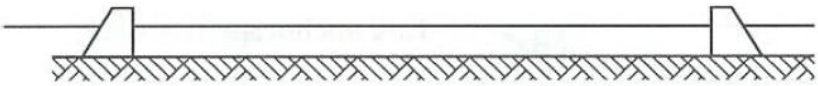
Taha Esmail
civil engineering club.com

6- طرق تطبيق سبق الاجهاد

١. شد مسبق: غالباً يتم في المصنع - Pre-tensioning
٢. شد لاحق: غالباً في الموقع - Post-tensioning

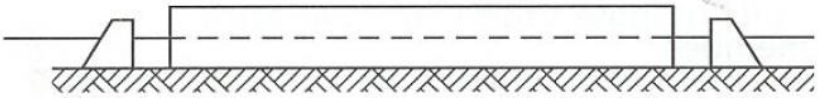






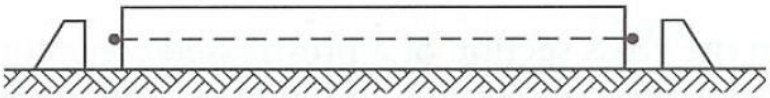
Tendon Tensioned between Anchorages

(a)



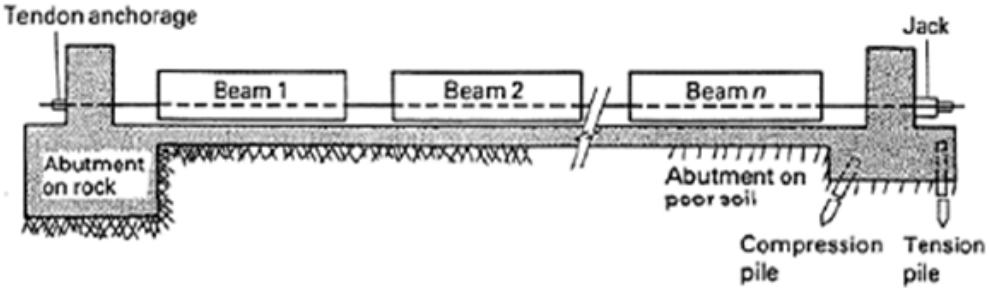
Forms Assembled and Concrete Placed in Forms

(b)

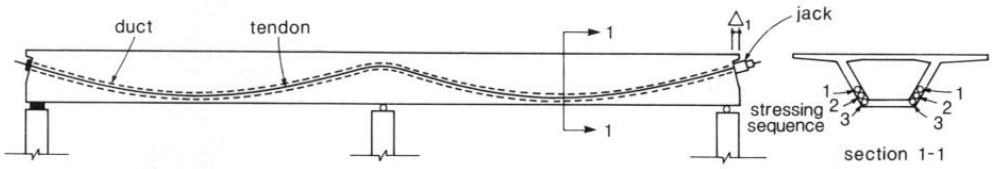


Tendons Cut and Compression Transferred to Member

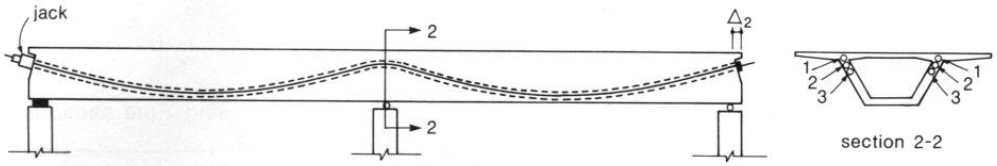
(c)



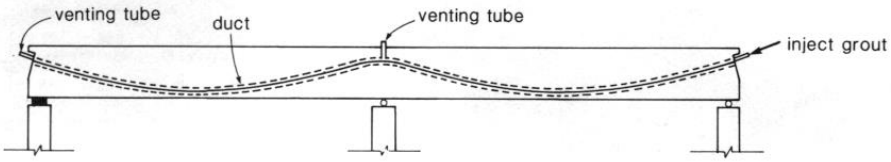
شد مسبق



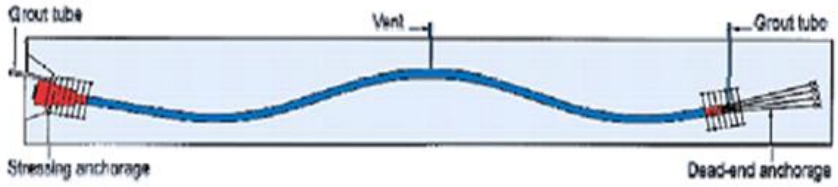
(a) Stagewise sequential tensioning from one end



(b) Stagewise sequential tensioning from other end



(c) Grouting of ducts

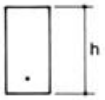
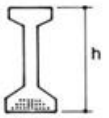


شد لاحق

7- مزايا البيتون مسبق الاجهاد

- يتمتع بمزايا البيتون عالي المقاومة والفولاذ عالي المقاومة أيضاً.
- الحاجة إلى مواد أقل مقارنة مع البيتون المسلح التقليدي.
- عناصر انشائية ومنشآت أصغر وأخف وزناً.
- لا يوجد تشققات.
- استثمار مساحة المقطع الكلي لمقاومة الحمولات.
- مقاومة للصدأ أفضل.
- ملائم جداً لخزانات المياه والمحطات النووية.

- فعالية كبيرة لضبط السهوم.
- مقاومة أفضل للقص.

Type of element	Live load, psf (kN/m²)	Span/depth, ℓ/h ratio
	<dead load	40
	50 (2.4) 100 (4.8)	40-50 32-42
	50 (2.4) 100 (4.8)	20-30 18-28
	50 (2.4) 100 (4.8)	23-32 19-24
	<dead load	20
	<dead load	30
	highway loading	18

Typical span-to-depth ratios for simply supported prestressed concrete members.

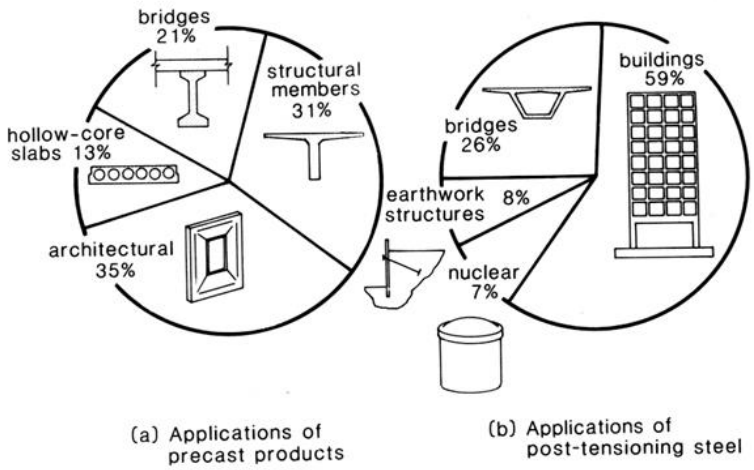
8- مساوئ البيتون مسبق الإجهاد مقارنة مع البيتون التقليدي:

- الحاجة إلى مواد عالية الجودة.
- متطلبات تكنولوجية أكثر تعقيداء
- كلفة أعلى.
- إعادة تدويره صعبة جداً.

9- تطبيقات البيتون مسبق الاجهاد

Applications
تطبيقات البيتون مسبق الإجهاد

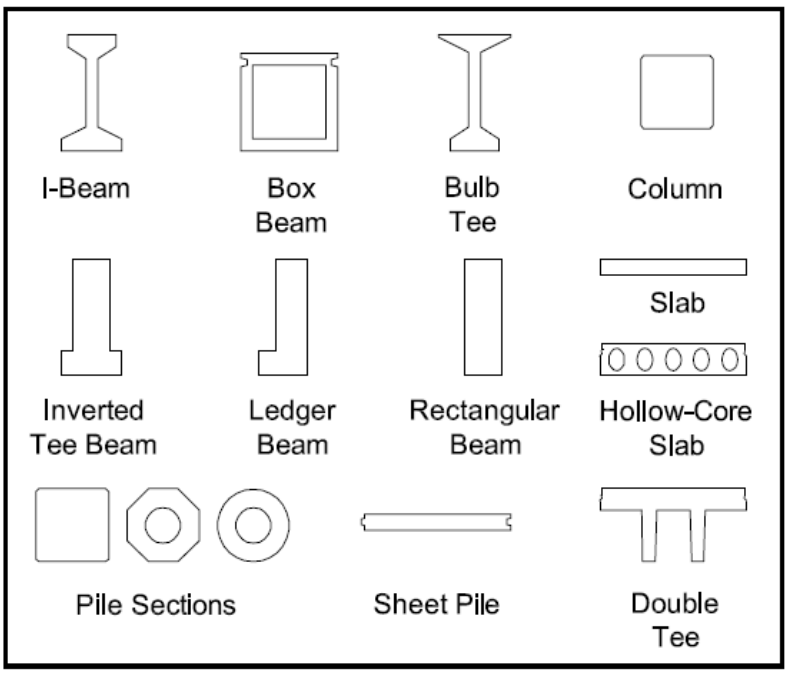
Bridges - جسور
Slabs in buildings - البلاطات في المباني
Water Tank - خزانات المياه
Concrete Pile - الأوتاد
Thin Shell Structures - القشريات
Offshore Platform - المنصات البحرية
Nuclear Power Plant - محطات الطاقة النووية
Repair and Rehabilitations - أعمال الإصلاح وإعادة التأهيل



(a) Applications of precast products

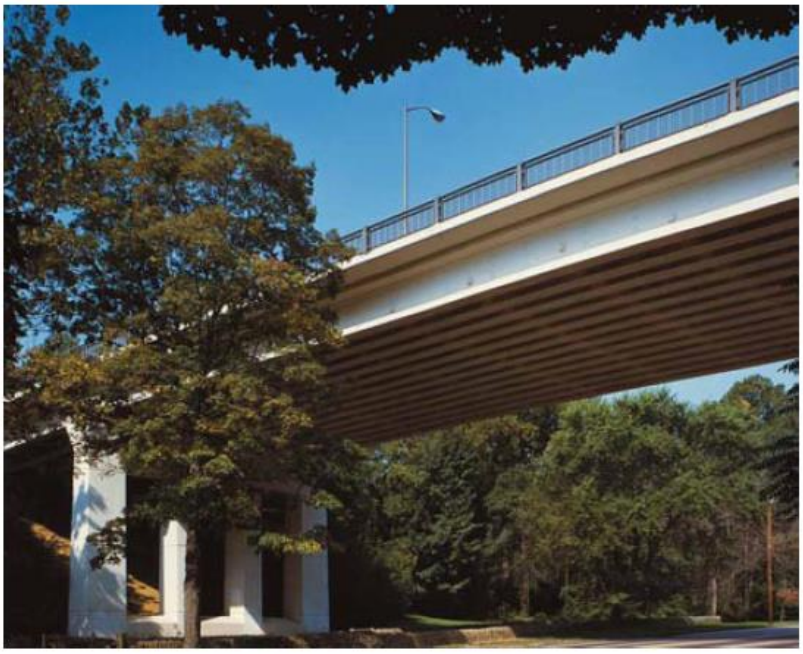
(b) Applications of post-tensioning steel

في أمريكا وكندا



Common precast and prestressed concrete products.

Precast Segmental Girder to be Posttensioned In Place



Walnut Lane Memorial Bridge: Recipient of the 1978 ASCE's *Outstanding Civil Engineering Achievement Award.*

Long-line prestressed double tee casting bed.

Erection of hollow-core deck members.

Standardization allows optimized bridge designs.

Standard AASHTO shapes offer immediate availability, economy, durability and low maintenance.

Viaduc de la ravine de l'Hermitage
(Ile de la Réunion)

Pont de Bettel-Roth

(Luxembourg)

PONT DE SAINT NAZAIRE

Les viaducs d'accès en béton comportent 22 travées au nord et 30 travées au sud. Chaque travée de 50,70 mètres de portée est constituée de quatre poutres en béton précontraint de 2,80 m de hauteur, de 3,00m de largeur de table, solidarisées par un hourdis et des entretoises aux extrémités.

Les travées sont « attelées » entre elles, longitudinalement, par groupe de quatre au niveau du hourdis.

Les poutres reposent sur les chevêtres situés en tête de pile par l'intermédiaire d'appareils d'appuis. La pente longitudinale atteint localement 5,6%.

Les poutres de 190 tonnes ont été fabriquées en rive et mises en place à l'aide d'un lanceur couvrant deux travées. Elles ont été solidarisées transversalement par un hourdis de 0,50m entre tables.

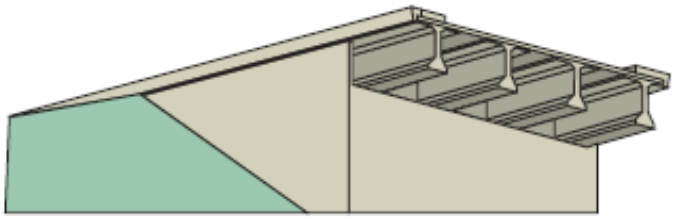


Figure n°15 : Schéma type d'un VI-PP

Figure n°16
VI-PP : Coupe transversale courante

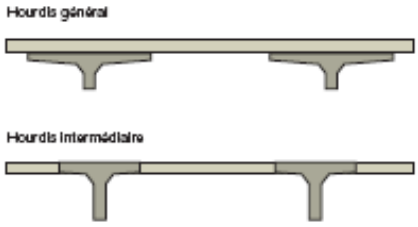
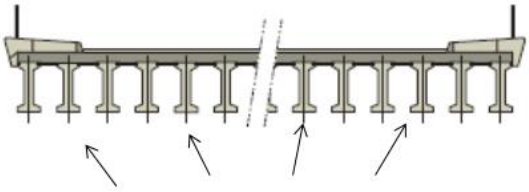


Figure n°17
VI-PP : Hourdis intermédiaire ou général

Coupe type d'un pont routier PRAD



Poutres précontraintes

10- المصطلحات – الوحدات والرموز

لائحة المصطلحات

خلائط (إضافات)	Admixtures
متلاصق	Affine
الوسط العدائيّ	Aggressive Environment
تحريك	Agitation
خلائط مولّدة لفراغات هوائيّة	Air-Entraining Admixtures
منطقة الإرساء	Anchorage Zone
قضيب	Bar
صفائح الإسناد	Bearing Plates
الانحناء	Bending
طريقة علاقة العزوم– السهوم بالقطع المستقيم المزدوج	Bilinear Moment-Deflection Relationship
نزف	Bleeding
التماسك	bond
الأوتار الملتصقة	Bonded Tendons
مياه آسنة	Brackish Water
الانفلاق	Bursting
السهم المعاكس	Camber
قدرة	Capacity
عامل النقل	Carryover factor
بلاطة خليويّة	Cellular Slab
فتحات الفحص	Chases

Coefficients	معاملات
Compression Controlled	المحكوم بالضغط
Concrete Block-Out	فجوات في الخرسانة
Confining Reinforcement	تسليح التطويق
Construction	التشييد
Construction Joints	فواصل تنفيذيّة
Converge	التقارب
Corrosion	الصدأ
Couplers	قطع الوصل (الموصلات)
Cover	تغطية
Cracked Elements	العناصر المتشقّقة
Creep	الزحف
Critical	الحرجة
Deformed Prestressing Bars	قضبان ذات نتوءات حلزونيّة أو متقطّعة
Duct(s)	غمد– أغماد
Ductile Iron	الحديد المطاوع
Ductile Iron Casting	حديد الصبّ المطاوع (الفونت)
Ductility Requirements	متطلّبات المطاوعة
Dynamometer	مقياس ضغط ديناميكيّ
Elastic-Perfectly Plastic	حالة المرونة واللدونة المثاليّة
Elongations	الاستطالة
Encapsulated Tendons	أوتار مغلّفة

End Zone	نهايات العنصر
Evaluation	تقييم
Expansion	انتفاخ
External Post Tensioning	الشدّ اللاحق الخارجيّ
Extruded	مبثوق
Factored	المصعّدة
Factored Load	القوى المصعّدة
Failure	انهيار (انقطاع)
Fatigue	التعب
Finite Element Method	طريقة العناصر المحدودة
Flanged Beam	الجوائز المجنّحة
Flexure	الانعطاف
Flushing	تدفّق
Folded Plate	بلاطة مطويّة
Friction	الاحتكاك
General Zone	المنطقة العامّة
Grade	درجة
Gripping Part	الجزء الماسك
Grout	مادّة الحقن
Handling and Storage	التحميل والتخزين
Hardened Steel	الفولاذ المقسّى
Harped Tendon	وتر بشكل مستقيم

Hot Dip Galvanizing	غلفنة بالتغطيس على الحامي
Hydrogen Embrittlement	الضرر الهيدروجينيّ
HYPERSTATIC	لقوى الستاتيكيّة الثانويّة
Identification	التعريف
Inhibiting	مانع
Initial Load Combination	تراكيب الأحمال الاستثماريّة الأوّليّة
Injection	حقن
Inserts	إملاء
Installation	تركيب
Isotropic	متماثل المناحي (متجانسة)
Iterations	التكرار المتوالي
Joist	عصب
Load Cell	خليّة حمل
Local Zone	المنطقة المحلّيّة
Long Term	طويل الأمد
Long-Term Service Load Combination	تراكيب الأحمال الاستثماريّة طويلة الأمد
Low Relaxation	قليل الارتخاء
Lower Bound	الحدّ الأدنى
Mandrels	أغماد قابلة للانتفاخ
Mineral Additives	إضافات معدنيّة
Modulus of Elasticity	معامل المرونة
Multi-Strand	متعدّدة الجدائل

Nodal Displacement Vectors	مصفوفة انتقالات العقد
Nominal Strength	المقاومة الاسميّة
Nuts	عزقات
Orthogonal Panel	بلاطة في اتّجاهين متعامدين
Orthotropic	متعامدة (غير متجانسة)
Over-Stressed	فرط الإجهاد
Parabolic Tendon	وتر بشكل منحنٍ
Post-Tension	الشدّ اللاحق
Precompressed Tensile Zone	منطقة الشدّ المضغوطة سابقاً
Prestressed	مسبق الإجهاد
Pre-Tension	الشدّ السابق
Proof Stress	إجهاد الضمان
Punching Shear	القصّ الناتج عن الثقب
Pure Balanced Design	التصميم الموازن الصافيّ
Quality Control	مراقبة الجودة
Radial Forces	القوى الدائريّة
Required	مطلوب
Ribbed Slab	بلاطة جائزيّة
Rupture	الانقطاع
Salt-laden Air	هواء محمّل بالملوحة
scalar	سُلَّمي
Screw	برغي

Secondary Moments	العزوم الثانويّة
Service Load	الحمل الاستثماريّ
Service Load Combination	تراكيب الأحمال الاستثماريّة
Seven-Wire Strands	جديلة ذات سبعة أسلاك
Shank	جذع المسمار
Shear Capacity	قدرة القصّ
Shear Links	موصلات القصّ
Shear stud	نواقل القصّ ذات المسامير برأس
Sheathing	غمد مغلّف للوتر
Shrinkage	الانكماش
Skin Reinforcement	تسليح سطحيّ
Slab-Beam Strip	الشريحة الجائزيّة في البلاطة
Spacer	محدّد المسافات
Spacing	تباعدات
Spalling	التشظّي
Stiffness Matrices	مصفوفة الصلابة (العطالة)
Strand	جديلة
Strength Design Load	الحمل التصميميّ الحدّيّ
Strength Design Load Combination	تراكيب الأحمال الحدّيّة التصميميّة
Stress Corrosion	التآكل الجهديّ
Stress Relieved	محرّر الإجهاد
Stress Relieved Normal Relaxation	ارتخاء طبيعيّ محرّر الجهد

Stressing Sequence	تسلسل الشدّ
Strip	شريحة
Strut	الدعامة
Tendon	وتر
Tension Controlled	المحكوم بالشدّ
Tie	الرابط
Tolerances	التسامحات
Torsion	الفتل
Transfer Prestressed Force	نقل قوى مسبق الإجهاد
Transition Elements	العناصر الانتقاليّة
Transverse Component	المركبة العرضيّة
Trial-And-Adjustment	التجربة والتصحيح
Tributary	المجال الفعّال
Two Orthogonal Frames	الإطار المكافئ المتعامد في الاتّجاهين
Two-Way Slab	البلاطة في الاتّجاهين
Unbalanced Moment	العزم غير المتوازن
Unbonded Tendons	الأوتار غير الملتصقة
Uncracked Elements	العناصر غير المتشقّقة
Uplift	الرفع
Upper Bound	الحدّ الأعلى
Versatile	متعدّدة الاستعمالات
Waffle Slab	بلاطة معصّبة في الاتّجاهين

سلك	Wire
الذبذبة	Wobbling
التعامل	Workability
القوى المؤثّرة	Working Load
المصنعيّة	Workmanship
محبوك	Woven

الوحدات والرموز Units and Symbols

وحدات النظام الدوليّ		وحدات النظام المتريّ		عامل التحويل	
الاسم	الرمز	الاسم	الرمز	إلى النظام المتريّ	إلى النظام الدوليّ
المتر	M	المتر	m	1m = 1m	1m = 1m
الميلّيمتر	mm	السنتيمتر	cm	1mm = 0.1cm	1cm = 10mm
الكيلو غرام	kg	الكيلو غرام	kg	1kg = 1kg	1kg = 1kg
الثانية	s	الثانية	s	1s = 1s	1s = 1s
درجة سيلسيوس	C°	درجة مئويّة	C°	1C° = 1C°	1C° = 1C°
النيوتن	N	كيلو غرام قوّة	kgf	1N = 0.102kgf	1kgf = 9.81N
الكيلو نيوتن	kN	طنّ قوّة	tf	1kN = 0.102tf	1tf = 9.81kN
نيوتن. متر	N. m	كيلوغرام قوّة. سنتمتر	kgf .cm	1N.m= 10.2kgf.cm	1kgf.cm= 0.0981N.m
كيلو نيوتن. متر	kN.m m	كيلو غرام قوّة. متر	Kgf. m	1kN.m= 102kgf.m	1 kgf.m = $9.81x10^{-3}$kN.m

ميغا نيوتن. متر	MN.m	طنّ قوّة. متر	tf. m	1MN.m= 102tf.m	1tf.m= $9.81x10^{-3}$MN.m
باسكال N/m^2	Pa	طنّ قوّة للمتر المربع	tf / m^2	1kPa= $0.102tf/m^2$	$1tf/m^2$= 9.81kPa
الكيلو باسكال	k Pa	كيلو غرام قوّة للسنتمتر المربّع	kgf/ cm^2	1MPa= $10.2kgf/cm^2$	$1kgf/cm^2$= 0.098MPa
الميغا باسكال	MPa	الضغط الجوّيّ النظاميّ		1MPa= 10.2atm	1atm= 0.098MPa

Typical SI Quantities and Units

Quantity	Unit	Symbol
Length	meter	m
Area	square meter	m^2
Volume	cubic meter	m^3
Force	newton	N
Weight	newton per cubic meter	N/m^3

Quantity	Unit	Symbol
Stress	pascal (N/m^2)	Pa
Moment	newton meter	N·m
Work	newton meter	Nm
Density	kilogram per cubic meter	kg/m^3
Mass	kilogram	kg

SI Prefixes

Prefix	Symbol	Multiplication Factor
tera	T	$10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$
giga	G	$10^{9} = 1\ 000\ 000\ 000$
mega	M	$10^{6} = 1\ 000\ 000$
kilo	k	$10^{3} = 1\ 000$
hecto	h	$10^{2} = 100$
deca	da	$10^{1} = 10$
deci	d	$10^{-1} = 0.100$
centi	c	$10^{-2} = 0.010$
milli	m	$10^{-3} = 0.001$
micro	μ	$10^{-6} = 0.000\ 001$
nano	n	$10^{-9} = 0.000\ 000\ 001$
pico	p	$10^{-12} = 0.000\ 000\ 000\ 001$

Conversion of U.S. Customary Units to SI Units

U.S. Customary Units	SI Units
1 in.	25.400 mm = 0.025 400 m
1 $in.^2$	645.16 $mm^2 = 6.451\ 600\ m^2 \times 10^{-4}$
1 ft	304.800 mm = 0.304 800 m
1 lb	4.448 222 N
1 kip	4 448 222 N = 4.448 222 kN
1 psi	6.894 757 $kN/m^2 = 0.006\ 895\ MN/m^2 = 0.006\ 895\ N/mm^2$
1 psf	47.880 $N/m^2 = 0.047\ 800\ kN/m^2$
1 ksi	6.894 757 $MN/m^2 = 6.894\ 757$ MPa
1 in-lb	0.112 985 N·m
1 ft-lb	1.355 818 N·m
1 in-k	112.985 N·m
1 ft-k	1 355.82 N·m = 1.355 82 kN·m

لائحة الرموز المستعملة

A_{cp}	Area enclosed by the outside perimeter of the section, in^2	
A_{cp}	المساحة المحصورة في الحدود الخارجية للمقطع؛ $مم^2$	
A_g	Gross area of concrete, in^2	
A_g	المساحة الكلّيّة للمقطع الخرسانيّ؛ $مم^2$	
A_l	Total area of longitudinal reinforcement to resist torsion, in^2	
A_l	المساحة الكلّيّة للتسليح الطولي المقاوم للفتل؛ $مم^2$	
A_o	Area enclosed by the shear flow path, sq.-in	
A_o	المساحة المحصورة بمسار تدفّق القصّ؛ $مم^2$	
A_{oh}	Area enclosed by the centerline of the outermost closed transverse torsional reinforcement, sq.-in	
A_{oh}	المساحة المحصورة بمركز تسليح الفتل العرضيّ المغلق الأبعد؛ $مم^2$	
A_{ps}	Area of Prestressing steel in flexural tension zone, in^2	
A_{ps}	مساحة تسليح فولاذ الشدّ اللاحق الموجود في منطقة الشدّ الناتجة عن الانعطاف؛ $مم^2$	
A_s	Area of tension reinforcement, in^2	
A_s	مساحة تسليح الشدّ؛ $مم^2$	
A'_s	Area of compression reinforcement, in^2	
A'_s	مساحة تسليح الضغط؛ $مم^2$	
A_s (required)	Area of steel required for tension reinforcement, in^2	
A_s (required)	مساحة تسليح الشدّ المطلوبة؛ $مم^2$	
A_t/s	Area of closed shear reinforcement per unit length of member for torsion, sq.-in/in	
A_t/s	مساحة تسليح القصّ المغلق اللازم لمقاومة الفتل في وحدة طول العنصر؛ $مم^2$/مم	

A_v	Area of shear reinforcement, in^2
A_v	مساحة تسليح القصّ؛ $مم^2$
A_v/s	Area of shear reinforcement per unit length of member, in^2/in
A_v/s	مساحة تسليح القصّ في وحدة طول العنصر؛ $مم^2/مم$
a	Depth of compression block, in
a	عمق منطقة الضغط؛ مم
a_b	Depth of compression block at balanced condition, in
a_b	عمق منطقة الضغط في الحالة التوازنيّة؛ مم
a_{max}	Maximum allowed depth of compression block, in
a_{max}	العمق الأعظميّ المسموح لمنطقة الضغط؛ مم
b	Width of member, in
b	عرض العنصر؛ مم
b_f	Effective width of flange (T-beam section), in
b_f	العرض الفعّال للجناح في الجوائز المجنّحة؛ مم
b_w	Width of web (T-beam section), in
b_w	عرض الجذع في الجوائز المجنّحة؛ مم
b_0	Perimeter of the punching critical section, in
b_0	محيط المقطع الحرج على الثقب؛ مم
b_1	Width of the punching critical section in the direction of bending, in
b_1	عرض المقطع الحرج على الثقب في اتّجاه الانعطاف؛ مم
b_2	Width of the punching critical section perpendicular to the direction of bending, in
b_2	عرض المقطع الحرج على الثقب في الاتّجاه العموديّ على الانعطاف؛ مم

C	Depth to neutral axis, in
C	العمق بالنسبة إلى المحور السليم؛ مم
c_b	Depth to neutral axis at balanced conditions, in
c_b	العمق بالنسبة إلى المحور السليم في الحالة التوازنيّة؛ مم
d	Distance from compression face to tension reinforcement, in
d	المسافة بين حافّة منطقة الضغط وتسليح الشدّ؛ مم
d'	Concrete cover to center of reinforcing, in
d'	سماكة طبقة التغطية إلى محور التسليح؛ مم
d_e	Effective depth from compression face to centroid of tension reinforcement, in
d_e	العمق الفعّال من حافّة منطقة الضغط إلى مركز تسليح الشدّ؛ مم
d_s	Thickness of slab (T-beam section), in
d_s	سماكة البلاطة في الجوائز المجنّحة؛ مم
d_p	Distance from extreme compression fiber to centroid of Prestressing steel, in
d_p	المسافة من الليف الأقصى المضغوط إلى مركز فولاذ الشدّ اللاحق؛ مم
E_c	Modulus of elasticity of concrete, psi
E_c	معامل مرونة الخرسانة؛ ميغا باسكال
E_s	Modulus of elasticity of reinforcement, assumed as 29,000,000 psi (ACI 8.5.2)
E_s	معامل مرونة التسليح؛ (200,000) ميغا باسكال
f'_c	Specified compressive strength of concrete, psi
f'_c	المقاومة المحدّدة للخرسانة على الضغط (المقاومة المميّزة)؛ ميغا باسكال
f'_{ci}	Specified compressive strength of concrete at time of initial prestress, psi
f'_{ci}	المقاومة المحدّدة للخرسانة على الضغط، عند نقل قوى الشدّ اللاحق؛ ميغا باسكال
f_{pe}	Compressive stress in concrete due to effective prestress forces only (after allowance of all prestress losses), psi

f_{pe}	إجهاد الضغط في الخرسانة، من تأثير قوى الشدّ اللاحق الفعّال فقط (بعد احتساب الضياعات كافّة)؛ ميغا باسكال
f_{ps}	Stress in Prestressing steel at nominal flexural strength, psi
f_{ps}	الإجهاد في فولاذ مسبق الإجهاد لمقاومة الانعطاف الاسمي؛ ميغا باسكال
f_{pu}	Specified tensile strength of Prestressing steel, psi
f_{pu}	مقاومة الشدّ المحدّدة للفولاذ مسبق الإجهاد
f_{py}	Specified yield strength of Prestressing steel, psi
f_{py}	إجهاد الخضوع المحدّد للفولاذ مسبق الإجهاد؛ ميغا باسكال
f_{se}	Actual strength of Prestressing steel, psi
f_{se}	الإجهاد الفعليّ في التسليح مسبق الإجهاد؛ ميغا باسكال
f_t	Extreme fiber stress in tension in the zone pre-compressed tensile using gross section properties, psi
f_t	إجهاد الشدّ الأعظميّ في الليف الخرسانيّ في منطقة الشدّ، التي ستخضع للضغط لاحقاً (عند نقل قوى الشدّ اللاحق)؛ باستعمال خصائص المقطع الكلّيّ؛ ميغا باسكال
f_y	Specified yield strength of flexural reinforcement, psi
f_y	إجهاد الخضوع المحدّد لفولاذ التسليح على الانعطاف؛ ميغا باسكال
f_{ys}	Specified yield strength of shear reinforcement, psi
f_{ys}	إجهاد الخضوع المحدّد لفولاذ تسليح القصّ؛ ميغا باسكال
h	Overall depth of a section, in
h	العمق الكلّيّ للمقطع؛ مم
h_f	Height of the flange, in
h_f	ارتفاع جناح المقطع؛ مم
K	Wobble friction coefficient per feet of tendon
K	عامل الاحتكاك من الذبذبة بالمتر الطولي للوتر
ΦM_n^0	Design moment resistance of a section with tendons only, N-mm
ΦM_n^0	العزم المقاوم التصميميّ للمقطع؛ فقط باستعمال أوتار الفولاذ مسبق الإجهاد؛ نيوتن– مم

Design moment resistance of a section with tendons and the necessary mild reinforcement to reach the balanced condition, N-mm	ΦM_n^{bal}
العزم المقاوم التصميميّ للمقطع؛ باستعمال أوتار فولاذ مسبق الإجهاد، وقضبان التسليح اللازمة للوصول إلى الحالة التوازنيّة؛ نيوتن– مم	ΦM_n^{bal}
Factored moment at section, lb-in	M_u
العزم المصعّد على المقطع؛ نيوتن– مم	M_u
Minimum Ultimate Tensile Strength, psi	MUTS
مقاومة الشدّ الحديّة الدنيا؛ ميغا باسكال	MUTS
Tension force in concrete due to un-factored dead load plus live load, lb	N_c
قوة الشدّ في الخرسانة من الحمل الميت والحيّ غير المصعّدين؛ نيوتن	N_c
Factored axial load at section, lb	P_u
الحمولة المحوريّة المصعّدة على المقطع؛ نيوتن	P_u
prestressing force at jacking end, lb	P_{pj}
قوّة مسبق الجهد عند النهاية المشدودة؛ نيوتن	P_{pj}
Spacing of the shear reinforcement along the length of the beam, in	s
المسافة بين قضبان تسليح القصّ على مسار الجائز؛ مم (طول)	s
Factored torsional moment at section, lb-in	T_u
عزم الفتل المصعّد في المقطع؛ نيوتن– مم	T_u
Shear force resisted by concrete, lb	V_c
قوّة القصّ المقاومة بالخرسانة؛ نيوتن	V_c
Maximum permitted total factored shear force at a section, lb	V_{max}
قوّة القصّ المصعّدة الكلّيّة الأعظميّة المسموحة في المقطع؛ نيوتن	V_{max}
Factored shear force at a section, lb	V_u
قوّة القصّ المصعّدة في المقطع؛ نيوتن	V_u

Shear force resisted by steel, lb	V_s
قوّة القصّ المقاومة بالفولاذ؛ نيوتن	V_s
Factor for obtaining depth of compression block in concrete	β_1
معامل حساب عمق منطقة الضغط في الخرسانة؛ مم	β_1
Ratio of the maximum to the minimum dimensions of the punching critical section	β_c
نسبة البعد الأكبر إلى البعد الأصغر من منطقة الثقب الحرج	β_c
Strain in concrete	ε_c
الانفعال في الخرسانة	ε_c
Maximum usable compression strain allowed in extreme concrete fiber (0.003 in/in)	$\varepsilon_{c,max}$
الانفعال الأعظميّ المستعمل القابل للاستعمال في الليف الخرسانيّ الأبعد (0.003 مم/مم)	$\varepsilon_{c,max}$
Strain in Prestressing steel	$\varepsilon_{ps\,s}$
الانفعال في فولاذ مسبق الإجهاد	$\varepsilon_{ps\,s}$
Strain in reinforcing steel	ε_s
الانفعال في الفولاذ العاديّ	ε_s
Minimum tensile strain allowed in steel reinforcement at nominal strength for tension controlled behavior (0.005 in/in)	ε, min
الانفعال الأدنى المسموح في فولاذ التسليح على الشدّ، عند الإجهاد الاسميّ في الخرسانة للمقاطع المحكومة بالشدّ (0.005 مم/مم)	ε, min
Strength reduction factor	Φ
عامل تخفيض المقاومة	Φ
Fraction of unbalanced moment transferred by flexure	γ_f

γ_f الجزء من العزم غير المتوازن المنقول نتيجة الانعطاف

γ_v Fraction of unbalanced moment transferred by eccentricity of shear

γ_v الجزء من العزم غير المتوازن المنقول نتيجة لامركزيّة القصّ

λ Shear strength reduction factor for lightweight concrete

λ عامل تخفيض مقاومة القصّ للخرسانة الخفيفة

μ_p Curvature friction coefficients

μ_p عامل الاحتكاك المنحني

α Angle of compression diagonals, degrees

α زاوية الضغط القطريّ؛ درجة